

УДК 621.43.068

А.П. Полив'янчук¹, О.І. Каслін², О.О. Скурідіна³¹ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна³ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЙ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Проаналізовано проблему зростання тривалості і вартості екологічного діагностування дизельних силових установок в результаті введення до складу нормованих показників масового викиду твердих частинок з відпрацьованими газами. У відповідності до вимог стандарту ISO 8178 запропоновано спосіб прискореного виміру цього показника та обґрунтовано доцільність його використання на прикладі екологічних випробувань магістрального тепловозу 2TE116.

Ключові слова: дизель, екологічність, відпрацьовані гази, тверді частинки, мікротунель, прискорений вимір, швидкодія.

Вступ

Процес екологізації транспортних ДВЗ характеризується поетапним введенням до складу нормованих показників токсичності дизелів величини середньоексплуатаційного викиду твердих частинок (ТЧ) з відпрацьованими газами (ВГ), який має позначення РМ (від англ. «particulate matter»). Так, з 1993 р. даний показник вимірюється в ході екологічних випробувань автомобільних дизелів, з 1997 р. – дизелів сільськогосподарських машин, а з 2007 р. – суднових та тепловозних дизелів. У перспективі показник РМ стане нормованою величиною для дизелів інших типів: побутових, промислових, двигунів спецтехніки та ін.

З початком нормування масових викидів ТЧ пов'язана проблема зростання тривалості і вартості екологічних випробувань дизелів через підвищені витрати часу на визначення показника РМ. Сутність даної проблеми полягає в наступному. Нормативною базою для проведення екологічних випробувань дизелів є міжнародний стандарт ISO 8178 [1-3]. Цей документ передбачає визначення величини РМ разом з іншими показниками токсичності ВГ дизеля – середньоексплуатаційними викидами газоподібних забруднюючих речовин: оксидів азоту, монооксиду вуглецю та вуглеводнів, які мають позначення GAS_x. Показники GAS_x і РМ визначаються в ході випробувальних циклів, які складаються з нормованих режимів роботи двигуна [3]. На кожному режимі проводиться відбір проб забруднюючих речовин для аналізу. Технологія контролю викидів ТЧ передбачає попереднє розбавлення ВГ двигуна атмосферним повітрям з подальшим пропусканням їх

через фільтри для відбору проб ТЧ. При цьому тривалість відбору проби визначається швидкістю її фільтрації та масою навішування ТЧ, що збирається на фільтрах. В ході випробувань можлива реалізація одного з двох методів відбору проб ТЧ: однофільтрового (ОФ), який передбачає використання одного фільтру за весь випробувальний цикл або багатофільтрового (БФ), який передбачає використання одного фільтру на кожному режимі випробувань.

Найбільш поширений сьогодні спосіб контролю викидів ТЧ, реалізований в мікро- та мінітунелях фірм Perkins, AVL [4, 5], Mitsubishi [6], характеризується підвищеними витратами часу на відбір проб ТЧ, які істотно перевищують тривалості відбору проб газоподібних забруднюючих речовин – 5-7 хв на кожному режимі випробувань. Внаслідок цього процедура визначення показника РМ є більш тривалою за часом та дорожчою, ніж процедура контролю показників GAS_x: при ОФ методі – в 1,2...1,5 рази; при БФ методі – в 1,9...2,5 рази. Вказана проблема має високу актуальність при випробуваннях дизелів великої потужності, зокрема – тепловозних, судових та ін. Для вирішення цієї проблеми і підвищення економічної ефективності екологічних випробувань дизелів необхідно використовувати більш швидкісні способи вимірювань показника РМ.

Мета і завдання дослідження

Мета досліджень: оцінювання доцільності використання в системах екологічного діагностування дизельних силових установок – мікротунелях швидкісних способів контролю масових викидів ТЧ. Для

досягнення цієї мети вирішені завдання: 1) аналіз можливості підвищення швидкості вимірювань показника РМ; 2) розробка методики оцінки доцільності використання в мікротунелях швидкісних способів вимірювань масових викидів ТЧ; 3) оцінка економічної ефективності використання способу прискореного виміру показника РМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технічне обладнання, процедура і порядок проведення екологічних випробувань дизельних установок. Відповідно до вимог стандарту ISO 8178 екологічні випробування дизелів проводяться за допомогою спеціального обладнання, до складу якого входять: навантажувальний пристрій, система відбору і аналізу проб газоподібних забруднюючих речовин (ГЗР) та система відбору і аналізу проб ТЧ - мікротунель (рис. 1).

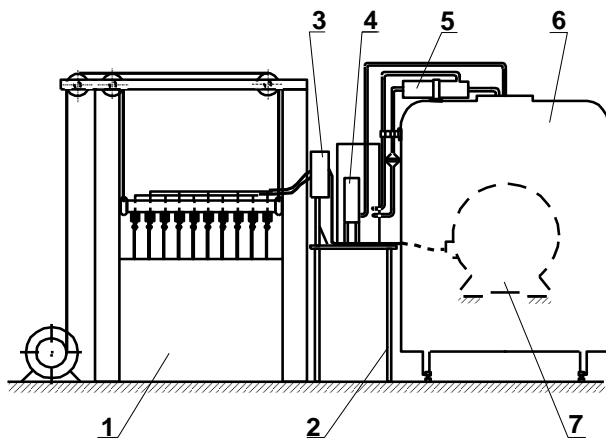


Рис. 1. Обладнання для екологічного діагностування тепловозних дизелів:

1 – навантажувальний пристрій (реостатна установка); 2 – стійка з приладами; 3 – електрична панель; 4 – система відбору і аналізу проб ГЗР; 5 – система контролю викидів ТЧ (мікротунель); 6 – локомотив; 7 – дизельна установка.

Навантажувальний пристрій використовується для контрольованого навантаження дизеля у всьому діапазоні експлуатаційних режимів його роботи. Система відбору і аналізу проб ГЗР призначена для вимірювання концентрацій газоподібних речовин, що містяться у ВГ дизеля. До складу цієї системи входять: пристрої для відбору і транспортування газових проб та газоаналітичні прилади.

Пристрої для відбору і транспортування газових проб використовуються для відбору потрібної для проведення аналізу кількості проби ВГ і підведення її до газоаналітичних приладів. Ці пристрої повинні забезпечувати незмінність складу проби при її транспортуванні від місця відбору до місця

аналізу. За допомогою газоаналітичних приладів здійснюються контроль і реєстрація концентрацій ГЗР у відібраних пробах. Для вимірювання нормованих показників GAS_x система відбору і аналізу проб ГЗР повинна містити відповідні газоаналізатори. В пробах, які відбираються, може контролюватися також вміст інших речовин, таких як: діоксид вуглецю, кисень, діоксид сірки та ін. Система відбору і аналізу проб ТЧ (мікротунель) використовується для вимірювання концентрації ТЧ, що містяться у ВГ дизеля.

Процедура екологічного діагностування дизеля являє собою цикл, який складається з нормованих режимів його роботи відповідно до вимог стандарту ISO 8178 [3]. Врахування реальних умов експлуатації дизеля здійснюється за допомогою вагових факторів режимів випробувань WF, які дорівнюють відносним тривалостям роботи дизеля на цих режимах в процесі його експлуатації.

Контроль викидів забруднюючих речовин з ВГ дизеля проводиться наступним чином. Починається випробування з етапу попереднього прогріву дизеля на режимі холостого ходу. Цей етап вважається завершеним, якщо досягнуті регламентовані значення температур і тисків води і мастила в системах охолодження і змащування дизеля.

Після цього починається виконання випробувального циклу - послідовна робота дизеля на кожному нормованому режимі випробувань, яка складається з двох етапів: температурної стабілізації дизеля та відбору проб забруднюючих речовин. В ході етапу температурної стабілізації дизеля досягається стабілізація температур води, мастила і ВГ, а також тисків води і мастила в системах охолодження і змащування дизеля. В ході етапу відбору проб забруднюючих речовин проводиться паралельний відбір проб для аналізу ГЗР і ТЧ, що містяться у ВГ дизеля. При цьому відбір проб ТЧ може здійснюватися двома методами: ОФ і БФ. При ОФ методі відбір проб ТЧ проводиться на один фільтр протягом всього випробувального циклу, а при БФ методі - на один фільтр на кожному режимі випробувань. ОФ метод дозволяє визначати тільки показник середньоексплуатаційного викиду ТЧ і використовується при проведенні сертифікаційних випробувань дизелів; БФ метод дозволяє визначати масові викиди ТЧ на нормованих режимах роботи двигуна та показник середньоексплуатаційного викиду ТЧ і використовується при проведенні дослідницьких випробувань дизелів.

Аналіз можливості підвищення швидкості вимірювання показника РМ. Стандартом ISO 8178 встановлено такі обмеження параметрів, які впливають на швидкість вимірювання масових викидів ТЧ: швидкість фільтрації проби розбавлених ВГ - v_f повинна знаходитись в діапазоні 35...100 см/с; маса

навішування ТЧ, яка збирається на фільтрах, не має бути меншою ніж мінімально допустиме значення: при ОФ методі – $M_{fi(min)} = 0,25$ мг, при БФ методі – $M_{fi(min)} = 0,14$ мг (при використанні фільтрів з діаметрами 70 мм) [1].

Найбільш поширені сьогодні способи контролю викидів ТЧ характеризуються швидкостями фільтрації проби - $v_f = 60...80$ см/с і масами навішування ТЧ при ОФ і БФ методах відбору проб - $M_f = M_{fi} = 1,3$ мг [4 – 6] (рис. 2).

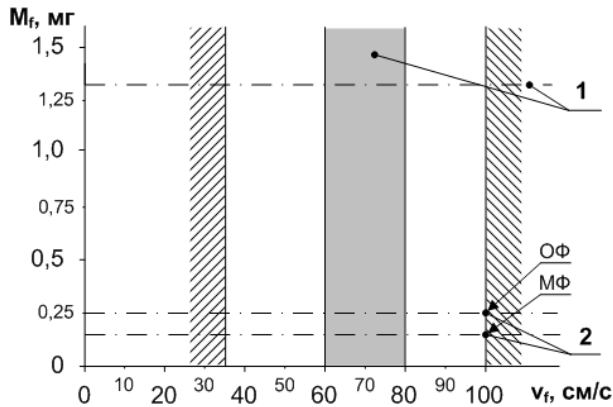


Рис. 2. Значення факторів, які визначають швидкість вимірювань показника РМ: 1 – найбільш поширені способи контролю викидів ТЧ; 2 – СПВ.

Як видно з рис. 2, нормативними вимогами допускається реалізація способу прискореного виміру показника РМ (СПВ), який характеризується максимально допустимою швидкістю фільтрації проби - $v_{f(max)} = 100$ см/с і мінімально допустимими масами навішування ТЧ - $M_{fi(min)} = 0,25$ мг і $M_{fi(min)} = 0,14$ мг. Застосування даного способу дозволяє скоротити витрати часу на відбір проб ТЧ: при ОФ методі - в 3,1...4,1 рази; при БФ методі - в 5,3...7,1 рази і, внаслідок цього, зменшити вартість процедури екологічних випробувань дизеля.

Слід зазначити, що зниження маси навішування до мінімально допустимого значення призводить до деякого зниження точності вимірювань показника РМ. Однак, як показали дослідження, представлені в роботах [7 – 9], результуюча похибка вимірювань показника РМ при реалізації СПВ не перевищує допустимого значення - $\pm 8,5\%$ [2], і, отже, даний спосіб може застосовуватись на практиці.

Виклад основного матеріалу

Методика оцінки доцільності використання способу прискореного виміру ТЧ передбачає проведення порівняльного аналізу ефективності двох способів вимірювання показника РМ (див. рис. 2): найбільш швидкісного з поширених сьогодні – способу 1 та СПВ – способу 2. В якості критеріїв ефективності вказаних способів використовуються:

А) абсолютні значення: тривалості випробувань – τ^{test} , витрат палива на їх проведення – M_{fuel}^{test} та вартості випробувань – C^{test} , які визначаються за допомогою виразів:

$$\tau^{test} = \tau^{heat} + \sum_{i=1}^n \left(\tau_i^{st} + \max \left\{ \tau_i^{sam(GASx)}, \tau_i^{sam(PM)} \right\} \right),$$

де τ^{heat} – тривалість етапу попереднього прогріву дизеля, год;

n – кількість режимів випробувального циклу (для циклу ISO 8178-F $n = 3$);

τ_i^{st} – витрати часу на температурну стабілізацію дизеля, год;

$\tau_i^{sam(GASx)}$ і $\tau_i^{sam(PM)}$ – тривалості відбору проб газоподібних забруднюючих речовин і ТЧ, відповідно, год;

$$M_{fuel}^{test} = G_{fuel}^{heat} \tau^{heat} + \sum_{i=1}^n \left(G_{fueli} \times \left(\tau_i^{st} + \max \left\{ \tau_i^{sam(GASx)}, \tau_i^{sam(PM)} \right\} \right) \right),$$

де G_{fuel}^{heat} – витрата палива на етапі попереднього прогріву дизеля, кг/год;

G_{fueli} – витрата палива на i -му режимі випробувань, кг/год;

$$C^{test} = M_{fuel}^{test} \times c_{fuel} + k_{oil} \times M_{fuel}^{test} \times c_{oil} + \tau^{test} \times c_{test},$$

де c_{fuel} , c_{oil} – питомі величини вартості палива і мастила, відповідно, грн/кг;

c_{test} – вартість однієї години роботи персоналу, грн/год;

k_{oil} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню маси мастила до маси палива, витрачених в ході випробувань;

Б) відносні значення: тривалості випробувань – τ^{test} , витрат палива на їх проведення – M_{fuel}^{test} і вартості випробувань – C^{test} , які визначаються, як відношення величин τ^{test} , M_{fuel}^{test} і C^{test} , що відповідають процедурі визначення показника РМ, до відповідних величин, що відповідають процедурі визначення показників GAS_x .

Експериментальна частина та обговорення результатів

Дослідження доцільності застосування СПВ проводились на основі результатів екологічних випробувань магістрального тепловозу 2ТЕ116, оснащеного дизелем 1А-5Д49 [10]. В якості пробовідбірного пристрою розглядалась універсальна система екологічного діагностування дизелів – мікротунель МКТ-2 з компенсаційним методом відбору

проби ВГ і температурним регулюванням режиму підготовки проби до аналізу [9]. В ході досліджень оцінено вплив на ефективність СПВ фактору поступового зниження норм викидів ТЧ з ВГ дизелів в результаті удосконалення екологічних стандартів. Врахування цього фактору проводилось за допомогою відносної величини \overline{PM} , яка дорівнює відно-

шенню сучасного та перспективного рівнів викидів ТЧ.

Результати досліджень доводять економічну ефективність використання СПВ в залізничному транспорті, а також в інших галузях, де використовуються дизельні установки, які характеризуються значними витратами палива (рис. 3).

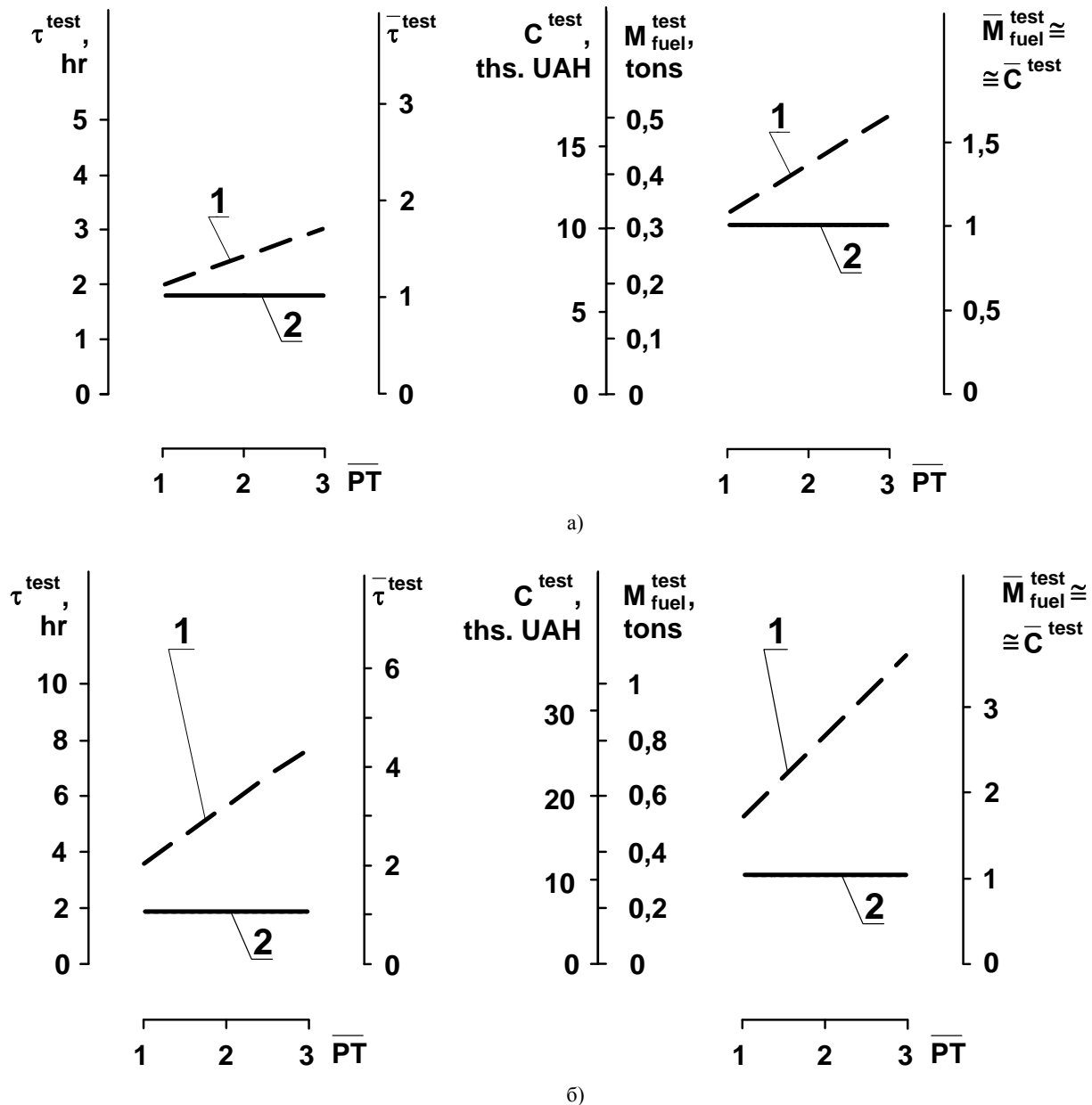


Рис. 3. Результати порівняльного аналізу ефективності способів 1 і 2 при випробуваннях магістрального тепловозу 2TE116 з використанням ОФ (а) та БФ (б) методів відбору ТЧ

Так, при проведенні екологічних випробувань тепловозних дизелів тривалість, витрати палива і вартість випробувань зменшуються: при ОФ методі - на 9...28 %, що становить за одне випробування 0,2...0,7 год, 25...45 кг і 0,8...1,5 тис. грн; при БФ

методі - на 43...53 %, що становить за одне випробування 1,7...3,0 год, 120...225 кг і 4,0...7,5 тис. грн. Зі зменшенням рівнів викидів ТЧ ефективність СПВ зростає: зі збільшенням \overline{PM} на кожну одиницю величини τ^{test} , $M^{\text{test}}_{\text{fuel}}$ і C^{test} додатково зменшуються:

при ОФ методі - на 0,3...0,7 год, 45...55 кг і 1,5...1,8 тис. грн; при БФ методі - на 1,7...3,0 год, 115...235 кг і 3,8...7,8 тис. грн.

Висновки

1. З початком нормування середньоексплуатаційного питомого викиду твердих частинок (ТЧ) з відпрацьованими газами (ВГ) дизельних установок – РМ з причини не достатньо високої швидкості вимірювання даного показника істотно зростають тривалість та вартість процедури екологічних випробувань дизелів: при використанні однофільтровою (ОФ) методу відбору ТЧ – у 1,2...1,5 рази, багатофільтровою (БФ) методу – у 1,9...2,5 рази.

2. У відповідності до вимог міжнародного стандарту ISO 8178 запропоновано спосіб прискореного виміру показника РМ - СПВ, який характеризується максимально допустимою швидкістю фільтрації проби з ТЧ – 100 см/с та мінімально допустимими масами навішувань ТЧ, які збираються на фільтрах – 0,25 мг і 0,14 мг при використанні ОФ і БФ методів відбору ТЧ, відповідно. Використання СПВ дозволяє суттєво підвищити швидкість виміру показника РМ: при ОФ методі – у 3,1...4,1 рази, при БФ методі – у 5,3...7,1 рази.

3. У порівнянні з найбільш поширеними сьогодні способами контролю викидів ТЧ, які реалізуються в міні- та мікротунелях фірм Perkins, AVL, Mitsubishi, СПВ характеризується більш високими швидкодією та економічною ефективністю використання – показниками, які мають високу значимість при випробуваннях дизелів великої потужності – тепловозних, суднових та ін. Використання СПВ дозволяє скоротити тривалість, витрати палива і вартість випробувань тепловозних дизелів: при ОФ методі – на 9...28 %, що становить за одне випробування 0,2...0,7 год, 25...45 кг і 0,8...1,5 тис. грн; при БФ методі – на 43...53 %, що становить за одне випробування 1,7...3,0 год, 120...225 кг і 4,0...7,5 тис. грн. При зменшенні фактичних рівнів викидів ТЧ з ВГ дизеля ефективність використання СПВ зростає.

Література

1. ISO 8178-1: 2017. (2017) Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 150.
2. ISO 8178-2: 2008. (2008) Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 2: Test – Measurement of gaseous and particulate exhaust emissions at site, 19.
3. ISO 8178-4: 2017. (2017) Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part4: Test cycles for different engine applications, 237.
4. Smart Sampler PC SPC 472. (1993) PC program for SPC 472 control. AVL, List GmbH Graz, 76.

5. Lianga, Z., Tiana, J., Rezaeia, S., Zhanga, Y. (2015) Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS. *School of Mechanical Engineering, University of Birmingham*, 31.
6. Hirakouchi, N., Fukano, I., Shoji, T. (1989) Measurement of Diesel Exhaust Emissions with MiniDilution Tunnel. *SAE Technical Paper Series*, 89018, 11.
7. Поливянчук, А.П. Повышение точности гравиметрического метода измерений удельного выброса твердых частиц с отработавшими газами дизеля. [Текст] / А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания. - 2010. №2. - С. 110-113.
8. Поливянчук, А.П. Оценка неопределенности результатов измерений выбросов твердых частиц в ходе экологических испытаний дизелів. [Текст] / А.П. Поливянчук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. - 2012. - №5 (176), Ч.2. - С. 121-128.
9. Поливянчук, А. П. Дослідження ефективності використання вимірювального комплексу з мікротунелем МКТ-2 при проведенні екологічного діагностування тепловозів. [Текст] / А.П. Поливянчук, Т.С. Харитонова, О.О. Чумак // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. - 2007. - № 8(114). - С. 119-124.
10. Поливянчук, А.П. Оцінка індивідуального внеску основних забруднюючих речовин у сумарну токсичність відпрацьованих газів тепловозів [Текст] / А.П. Поливянчук, С.О. Львов, С.В. Зубов // Міжнародний інформаційний науково-технічний журнал Локомотивінформ. - 2010. - №5. - С. 61-62.

References

1. ISO 8178-1: 2017. (2017) Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 150.
2. ISO 8178-2: 2008. (2008) Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 2: Test – Measurement of gaseous and particulate exhaust emissions at site, 19.
3. ISO 8178-4: 2017. (2017) Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part4: Test cycles for different engine applications, 237.
4. Smart Sampler PC SPC 472. (1993) PC program for SPC 472 control. AVL, List GmbH Graz, 76.
5. Lianga, Z., Tiana, J., Rezaeia, S., Zhanga, Y. (2015) Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS. *School of Mechanical Engineering, University of Birmingham*, 31.
6. Hirakouchi, N., Fukano, I., Shoji, T. (1989) Measurement of Diesel Exhaust Emissions with MiniDilution Tunnel. *SAE Technical Paper Series*, 89018, 11.
7. Polivyanchuk, A. (2010). Improving the accuracy of the gravimetric method for measuring the specific emission of solid particles with exhaust gases of a diesel engine. *Internal combustion engines*, 2, 110-113.
8. Polivyanchuk, A. (2012). Estimation of the uncertainty of the results of measurements of particulate emissions during the environmental tests of diesel engines. *Visnyk of the East Ukrainian National University memory V. Dal*, 5(176), P.2., 121-128.
9. Polivyanchuk, A., Haritonova, T., Chumak, O. (2007). Investigation of the effectiveness of using a measuring

complex with microtubule MKT-2 during the ecological diagnostics of diesel locomotives. *Visnyk of the East Ukrainian National University memory V. Dal*, 8(114), 119-124.

10. Polivyanchuk, A., Lvov, S., Zubov, S. (2010). Assessment of the individual contribution of the main pollutants to the total toxicity of the exhaust gases of diesel locomotives. *International information scientific and technical journal Lokomotivinform*, 5, 61-62.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Парсаданов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Автор: ПОЛИВ'ЯНЧУК Андрій Павлович
д.т.н., проф., професор кафедри Інженерної екології міст

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail - apmail@meta.ua

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9966-1938>

Автор: КАСЛІН Олександр Ігорович

аспірант кафедри Двигунів внутрішнього згоряння

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

E-mail - dvs@kpi.kharkov.ua

Автор: СКУРІДІНА Олена Олександрівна

аспірант кафедри Хімічної інженерії та екології

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

E-mail - icd@snu.edu.ua

RATIONALE IMPROVE THE PERFORMANCE OF ECOLOGICAL DIAGNOSIS SYSTEMS OF DIESEL ENERGY INSTALLATIONS

A.P. Polivyanchuk¹, O.I. Kasin², O.O. Skuridina³

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine

³Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine

The analysis of the problem of increasing the duration and cost of procedures for environmental diagnostics of diesel power plants of different types as a result of introducing the mass emission of solid particles with exhaust gases into the composition of standardized parameters. Due to the insufficiently high rate of measurement of this indicator, the duration and cost of the procedure for the environmental testing of diesel engines significantly increase: using a single-filter method for the extraction of solid particles during the certification tests - in 1,2 ... 1,5 times, the multi-filter method during the research trials - in 1.9 ... 2.5 times.

In accordance with the requirements of the international standard ISO 8178, a method for accelerated measurement of this index is proposed and the expediency of its use is proved on the example of ecological certification and research tests of the main diesel locomotive 2ТЭ116 with the diesel unit 1А-5Д49. The proposed method is characterized by the maximum permissible filtration rate of a sample with solid particles of 100 cm / s and the minimum admissible masses of samples of solid particles that are collected on filters 0.25 mg and 0.14 mg using single-filtration and multi-filter methods for the extraction of particulate matter, respectively.

It has been established that compared to the most common methods of control of particulate emissions, which are realized in mini and microtunnels of firms Perkins, AVL, Mitsubishi, the method of accelerated metering is characterized by higher speed and economic efficiency of use - indicators that are of great importance for testing diesel engines high power - diesel, ship, etc. Application of the proposed method can reduce the duration, fuel consumption and cost of testing diesel engines: with certification tests - by 9 ... 28%, which is 0.2 ... 0.7 h, 25 ... 45 kg and 0.8 ... 1,5 thousand UAH for one test; at arbitrary tests - by 43 ... 53%, which for one test is 1.7 ... 3.0 h, 120 ... 225 kg and 4.0 ... 7.5 thousand UAH. When the actual emission levels of particulate matter with the exhaust gases of the diesel are reduced, the efficiency of using the proposed method is increasing.

Keywords: diesel, ecology, exhaust gases, particulate matter, microtunnel, accelerated measurement, rapidity.